

SIC-systemet

- løsning på den globale vandstandsstigning

Projektet ligger i læsideerosionsområdet syd for Hvide Sande Havn. (Foto: Poul Jakobsen)

Af ingeniørerne Poul Jakobsen og Claus Brøgger, SIC – Skagen Innovation Center

Resultatet af SIC-projektet med miljøvenlig kystbeskyttelse udført over 11 km på Vestkysten mellem Hvide Sande og Nyminddegab viser, at den gennemsnitlige strandhøjde fra klitfoden i kote 4 og 100 meter ud mod havet er hævet op til 1,47 meter i forhold til referenceområde 2 uden trykudligningsmoduler.

Dette er endnu en bekræftelse på projektet ved Gl. Skagen, hvor middelstrandhøjden var 47 – 63 cm højere i testområdet i forhold til referenceområderne efter 5 år

Projektområdet

Projektet er placeret 5 km syd for Hvide Sande havn på en 11 km. lang strækning i et meget typisk læside-erosionsområde syd for Hvide Sande havn (se kortet til højre og fotoet ovenfor).

Den gennemsnitlige kysttilbagerykning i projektområdet er 2 meter om året, svarende til 330.000 m³, idet klithøjden i området er ca. 15 meter.

Projektområdet er opdelt i 3 referenceområder (1.800 meter) uden trykudligningsmoduler og 2 områder med trykudligningsmoduler rørområde 1 og rørområde 2 på henholdsvis 4.700 meter og 900 meter, (se placeringer på kortet til højre)

Kortet viser projektområdet med dets inddelinger i referenceområder og rørområder. (Gengivet med tilladelse af KDI)



Måleprogram

Anlægget, som er baseret på lodrette drænmoduler, er etableret ultimo januar måned 2005, hvor der blev foretaget en initialopmåling af klittoppen, forstranden og 600 meter offshore ud i havet.

Opmåling af klitten samt forstranden er efterfølgende udført af ingeniørfirmaet Carl Bro A/S kvartalsvis med en afstand mellem målelinierne på 100 meter langs stranden og 10 meter i tværprofil.

Søopmålingen er foretaget med en afstand på 200 meter mellem linierne langs stranden og 600 meter ud i havet kvartalsvis i det første år og efterfølgende halvårsvis.

Formål med de fastlåste referencelinier

Formålet med de fastlåste referencelinier er at følge udviklingen i strandplanet volumenmæssigt.

Man skal være meget opmærksom på, at vinderosion på stranden er en meget væsentlig faktor over et eller flere år, og den bliver meget større, når man dræner strandene, så middelstrandhøjden bliver højere.

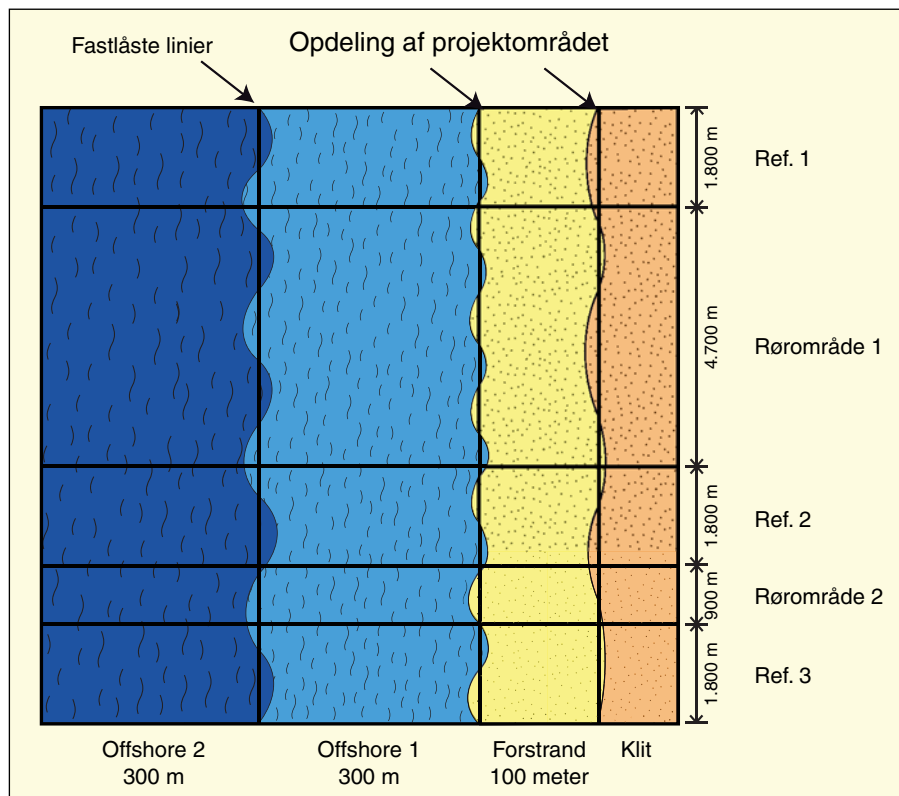
Ved højere og bredere strande bliver sandet mere tørt, hvilket medfører meget stor sanddrift til klitområdet. Man skal derfor skelne mellem vinderosion og bølge/strømmerosion i stranden, som er de eroderende faktorer i forstranden.

Vinderosionen i forstranden kan kun beregnes, hvis vi kender sandtilvæksten i klitterne på den jyske vestkyst, hvor vindretningen primært er vestlig.

Første års resultat

Opmålingerne viser, at der er et samlet kysttillæg fra klittoppen til kystlinien i området på 475.940 m³.

Hertil kommer den normale kysterosion på 330.000 m³, så den samlede effekt er 806.000 m³ (se beregning).



Klitten er defineret fra kote +4 i DVR 90 (Dansk Vertikal Reference 1990) til klittop. Forstranden er fra kote +4 i klitfod til kystlinien. Kote +4 i klitfoden er fastlåst til opmålingen i januar 2005, hvor anlægget er etableret. Gennemsnitlig strandhøjde beregnes fra kote +4 januar 2005 og 100 meter ud mod havet. Offshore 1 er 300 meter bred og fastlåst til referencelinien i kote +4 januar 2005. Offshore 2 er 300 meter bred og fastlåst til offshore 1 og dermed referencelinien i kote +4. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Resultatet kan opgøres, som følger:

Tillæg i rørrområderne 1 og 2	336.640 m ³
Læsidetillæg i referenceområde 3	139.300 m ³
Tillæg i alt	475.940 m ³

Erosion i referenceområderne 1 og 2	-36.820 m ³
Normal kysterosion med 2 m kysttilbagerykning	330.000 m ³
Samlet effekt af SIC-systemet (januar 05 - januar 06)	806.000 m ³
=====	



Trykudligningsmodulerne nedbores i stranden med 10 meters afstand i tværprofilen fra Klitfoden til kystlinien max 11 moduler i hver række (dvs. strandbredde 100 m). (Foto: Poul Jakobsen)



Opmålinger fra kystlinien og 600 m ud i havet foretages med 200 meters afstand vinkelret på kysten med KDI's opmålingsfartøj DIGI. (Foto: Poul Jakobsen)

Samtidig viser resultaterne, at der er læside-tillæg ved SIC-systemet modsætningsvis hårde konstruktioner som høfder og bølge-brydere, som giver stor læsideerosion.

Opbygning i forkanten af klitten

Der er en meget nøje sammenhæng mellem vinderosionen i stranden og opbygningen af klitsystemet.

Analyser af forkanten af klitten fra klit-fod kote +4,0 til klittop viser, at opbygningen i forkanten af klitten er ca. 55 % større i de drænedes områder i forhold til ref. 1 og ref. 2 (se figuren øverst til højre).

Ref. 3 er atypisk på grund af det store læside-tillæg.

Når opbygningen i forkanten af klitten alene er ca. 20 m³ pr. meter i det første år, kan man konkludere, at forstranden er sænket med minimum 20 cm i 100 meters bredde på grund af vinderosion.

Den årlige vinderosion i forstranden bliver nok nærmere 30 – 40 cm årligt, idet store sandmængder også lægger sig længere inde i klitterne. Dette forhold vil blive nærmere undersøgt senere.

Vi har imidlertid også registreret, at sandet fanges af den første vegetation, som sandet møder på sin vej ind i klitterne, og det er derfor formålstjenligt at plante hjælme fra kote 4 og 10 meter ud mod havet, så sandet fra forstranden ikke går tabt inde i klitsystemet. SIC har udvidet sit patent med denne løsning med en ny patentansøgning, som er indleveret i efteråret 2006.

Middelstrandhøjde

SIC har udviklet en ny evalueringsmetode, som er baseret på middelstrandhøjden i en given bredde i relation til tidevandsforskellen i området.

Ved Hvide Sande er tidevandsforskellen ca. 1,0 meter, og der kan opstå højvands-situationer med vandstande helt op til 3,0 meter.

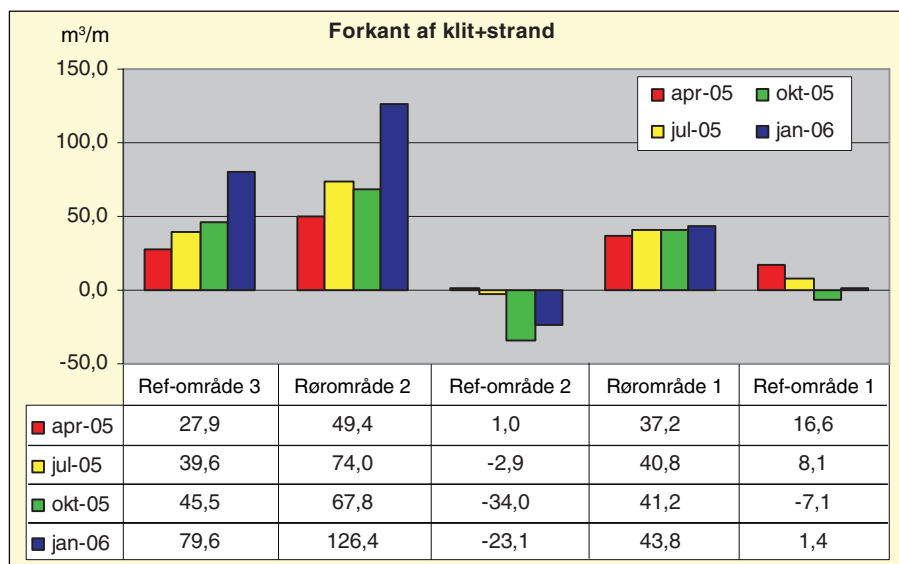
Målingerne over det første år viser, at SIC-systemet genererer ca. 100 meter brede forstrande mellem Hvide Sande og Nymindegab i et balanceprofil, når stranden er drænet med SIC-systemet.

Videnskabsfolk på området anerkender generelt, at det er forstranden, som beskytter klitterne og baglandet mod kysterosion.

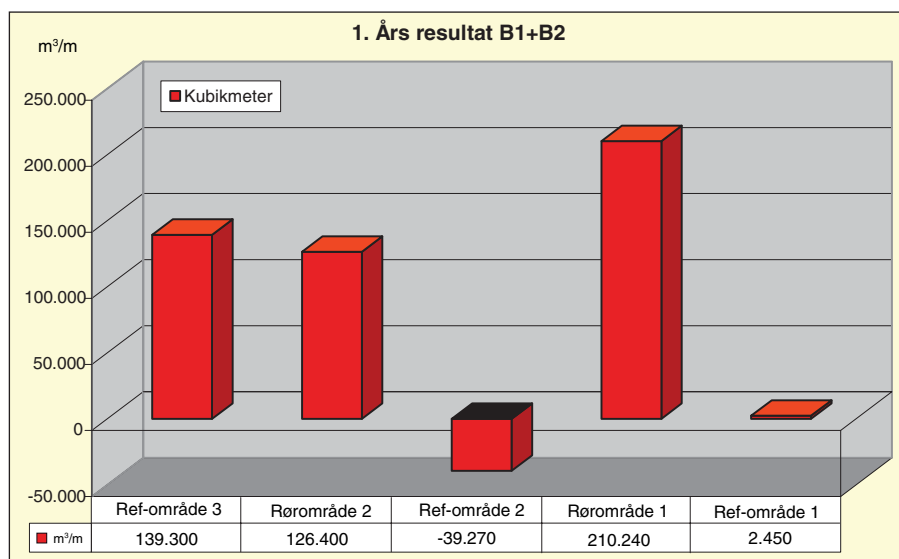
SIC har derfor fastlåst referencelinien til kote 4,0 meter januar 2005 og beregner middelstrandhøjden fra referencelinien og 100 meter ud mod havet (se figuren øverst på næste side).

Succeskriteriet er en middelstrandhøjde på 1,3 meter svarende til 130 m³ pr. meter langs stranden. I Tyskland regner myndighederne også med 130 m³ pr. meter på stranden på Sild uanset strandbredden.

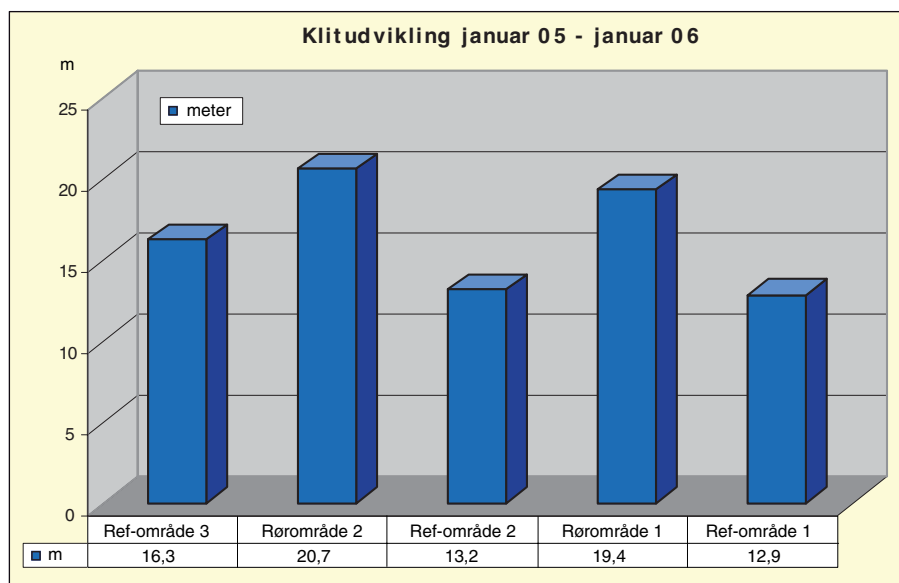
Sandfodringen på den jyske vestkyst er designet til 3,5 x 70 meter, hvilket svarer til 122,5 m³ pr. meter. (Badevej Søndervej)



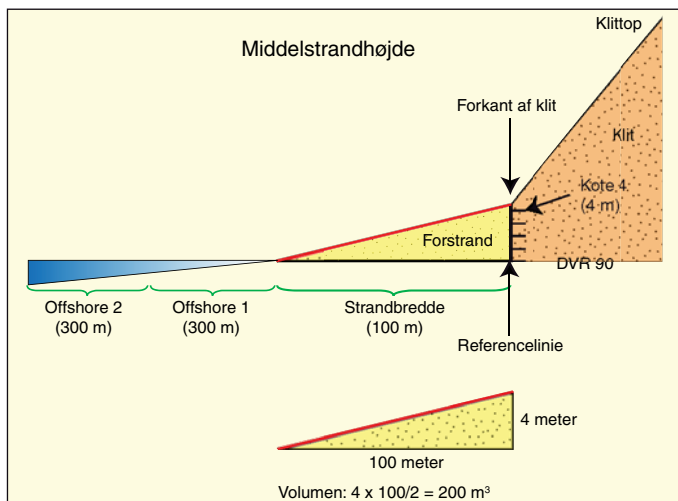
Grafen viser udviklingen på stranden og forkanten af klitten i m³ pr. meter langs stranden. Beregningerne er foretaget af ingeniørfirmaet Carl Bro A/S for projektgruppen. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Grafen viser tillæg og erosion i forstranden (B2) og forkanten af klitten (B1) i rørområderne og referenceområderne i m³. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Grafen viser opbygningen i forkanten af klitten fra klitfod til klittop. Opbygningen er ca. 60 % større i de drænedes rørområder i forhold til ref. 1 og ref. 2. Ref. 3 er atypisk på grund af læside-tillægget. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Figuren viser tværsnittet af strandprofilen og grundlaget for beregningen af middelstrandhøjden i 100 meters bredde. Det er forstranden, som beskytter baglandet i en stormsituation. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Analysen

I jan 2005 var ref. 2 det stærkeste profil med en middelstrandhøjde på 1,25 meter.

Ref. 2 uden drænrør er nu det svageste profil med en middelstrandhøjde på kun 0,81 meter, og havet er på vej ind gennem klitterne i ref. 2.

Modsætningsvis er strandhøjden hævet med henholdsvis 19 og 92 cm i rørrområde 1 og rørrområde 2.

Samtidig er der registreret læsidetillæg i referenceområde 3, som resulterer i en større middelstrandhøjde i den nordlige del af ref. 3.

Den højere middelstrandhøjde kompenserer for den globale vandstandsstigning, som er beregnet til 28 - 59 cm over de næste 100 år ifølge FN (ifølge UN's seneste rapport om den globale vandstandsstigning).

SIC-systemet kunne derfor være en mu-

lig løsning på den globale vandstandsstigning på verdensplan.

Transport- og Energiudvalget kommer på besøg i projektområdet d. 21 marts 2007, og SIC har anbefalet Trafikudvalget, at der sideløbende etableres et anlæg på 20 km ved Søndervig, som skal vise effekten i stor skala.

Læsidetillæg

Referenceområde 3 ligger umiddelbart syd for rørrområde 2, hvor der meget hurtigt opstod et kysttillæg på helt op til 65 meter på kystlinien, efter at stranden blev drænet i januar 2005 (se foto på næste side).

Når man genererer en sandtunge på kystlinien med trykkudligningsmodulerne og presser kystlinien op til 65 meter ud i havet, forøger man strømhastigheden, hvilket medfører, at sandet udvasker de grove mate-



I referenceområde 2 er klitfoden rykket hen mod 20 meter tilbage – herved er klitten helt forsvundet. (Foto: Poul Jakobsen)

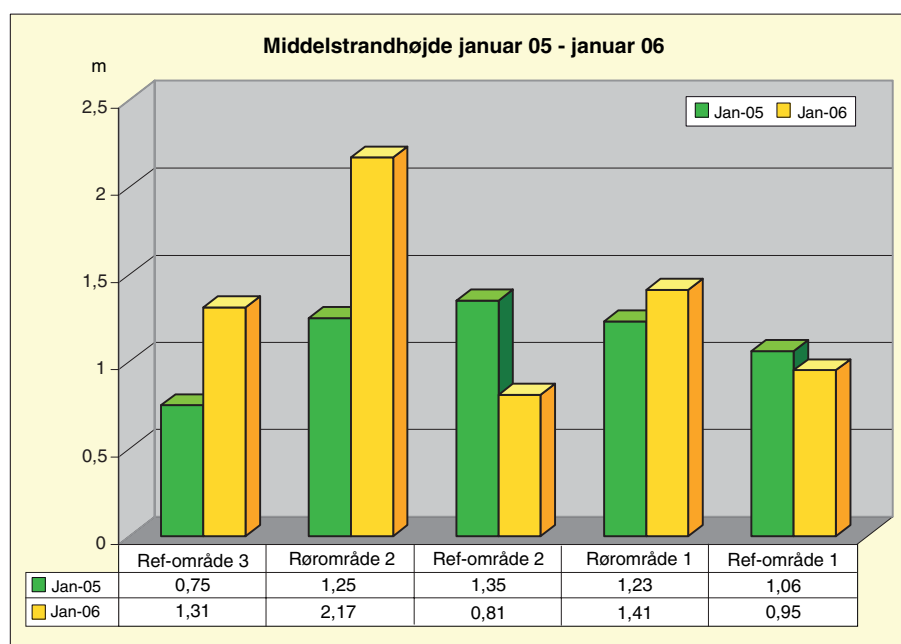
rialer, som lægger sig på læsiden nedstrøms som vasket sand.

Offshore

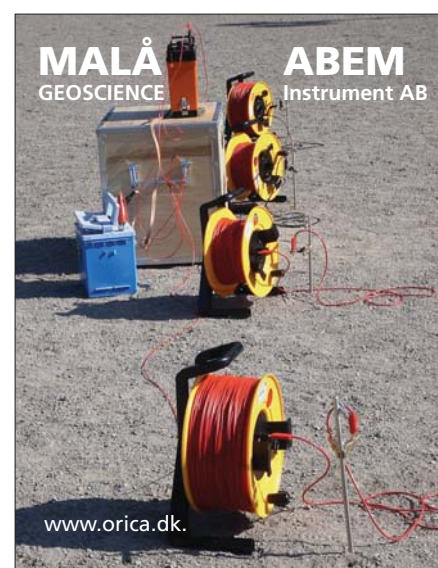
Opmåling med Kystdirektoratets målebåd, DIGI, viser ikke erosion i havbunden ud for rørrområde 1 og rørrområde 2 samt referenceområde 3.

Revlefodringen i referenceområde 1 og nord for projektet, som man har udført i nogle år, virker ikke, men giver derimod erosion i den nordligste ende i referenceområde 1 ude i havet, og KDI (Kystdirektoratet) forsøger nu at dele revlefodringen op i længder af 1.200 meter. Der laves for øjeblikket mange forsøg med revlefodring og kunstige revler bestående af skrot mv.

I Italien vil man forsøge at bygge kunstige revler af vandretliggende betonrør.

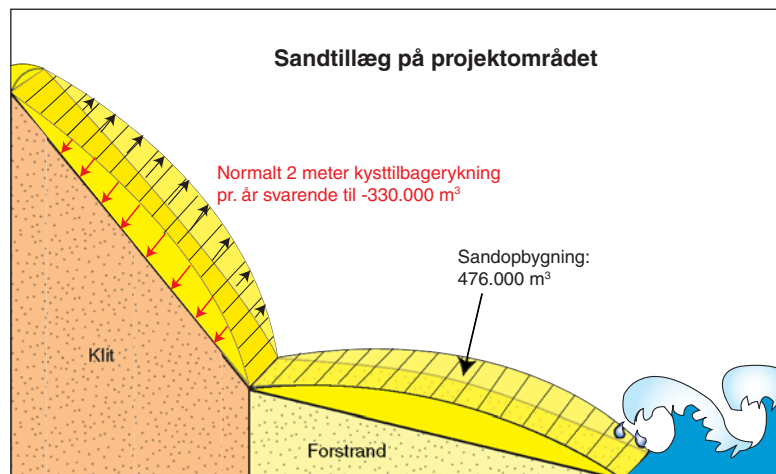
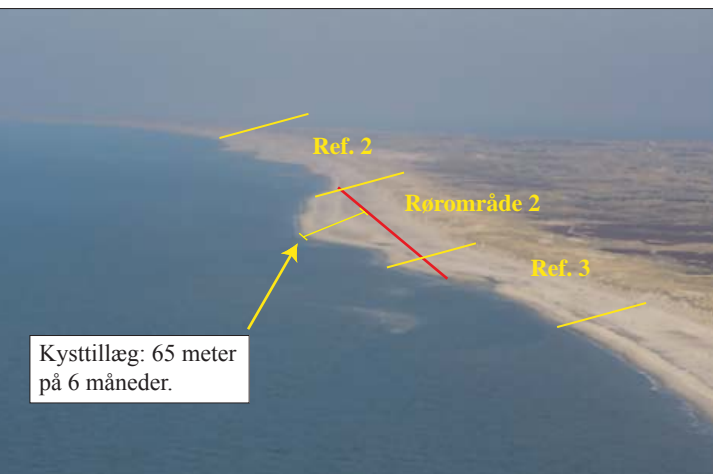


Grafen viser middelstrandhøjden fra klit foden kote +4 og 100 meter ud mod havet. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Dyno Nobel Danmark A/S
Tel.: (+45) 43451538





Luffoto august 2005. (Foto: Poul Jakobsen)

Figuren viser den normale årlige kysttillægerykning på 2,0 meter i alt 330.000 m³ samt kystopbygningen i forstranden og forkanten af klitten 476.000 m³ i 2005. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Konklusion

SIC-systemet har haft en effekt i projektområdet på 11 km på i alt 806.000 m³, idet SIC-systemet for det første har stoppet den årlige erosion i området på i alt 330.000 m³.

Samtidig er der opbygget en buffer på 476.000 m³ sand foran klitten, som beskytter baglandet i højvandssituationer med storm.

Ifølge FN vil vandstanden i verdenshavene stige mellem 28 og 59 cm i løbet af de næste 100 år.

Sandopbygningen i forstranden hæver strandprofilet i forstranden med 72 - 147 cm i forhold til referenceområde 2, således at SIC-systemet samtidig løser problemet med den globale vandstandsstigning.

Der er registreret læsidedeltillæg nedstrøms for projektet modsat hårde konstruktioner, der giver læsideerosion.

Der er ikke registreret vandrende sandbølger i projektområdet, men kun normal fluktation på kystlinien.

Kysten har været ramt af 5 storme i denne vinter, hvor de 4 storme har ligget mellem den 1. januar og den 20. januar 2007.

Der er generelt ikke registreret kliterosion i rørømråderne, mens der er kliterosion i alle tre referenceområder.

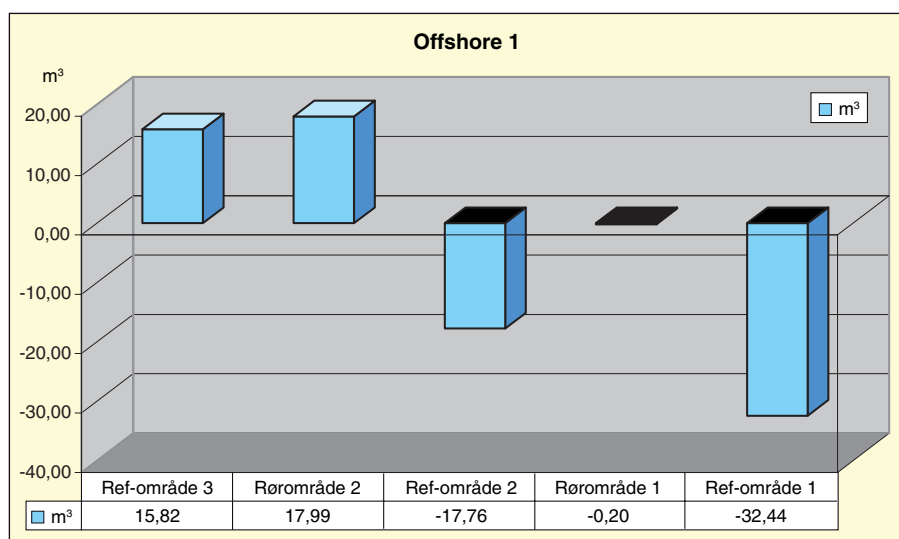
I ref. 2 er klitfoden rykket op mod 20 m tilbage med det resultat, at klitten er forsvundet (se foto på foregående side).

Næste skridt

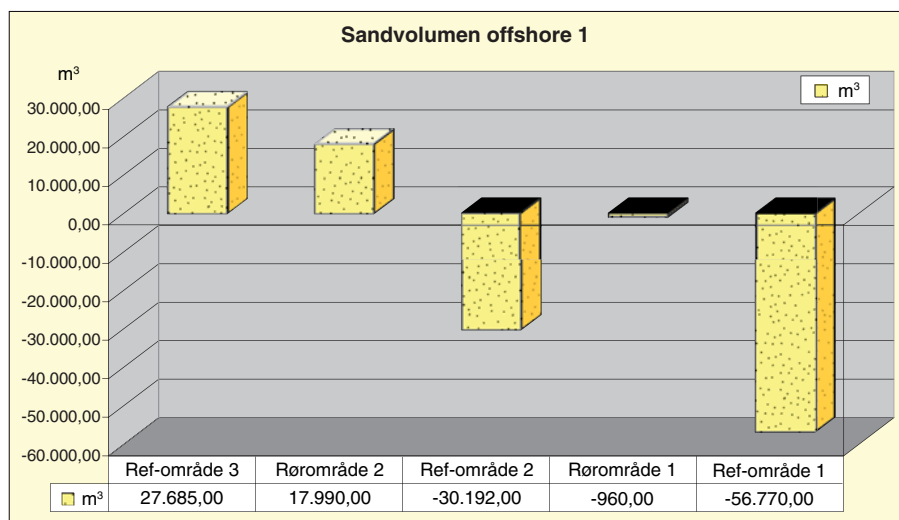
Med baggrund i de signifikante resultater afgiver SIC nu tilbud på 100 km på den jyske vestkyst.

Tilbudet er på ca. 33,5 mio. kr., og samfundet sparer således ca. 50 mio. kr. årligt, så hele Danmark kan beskyttes for det samme beløb, som tidligere blev anvendt til sandfodring i 5 vestjyske kommuner.

SIC foreslår samtidig, at stenene fra de gamle bølgebrydere og høfder laves til skærver og lægges ind i klitfoden. Vestkysten bliver på denne måde sikret mod en 100 års storm ved højvande.



Grafen viser tillæg og erosion i offshore 1 fra kystlinien og 300 meter ud i havet pr. meter langs kysten i de enkelte områder. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Grafen viser volumenberegningen i de enkelte områder. Der er ikke erosion ud for rørømråderne og det kan derfor konkluderes, at opbygningen på forstranden og forkanten af klitten kommer fra den langsgående materialetransport. Vi vurderer, at den store erosion ud for ref. 1 skyldes KDI's forsøg med revlefodring syd for Hvide Sande havn. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Der er i dag meget omfattende dokumentation for, at bølgebrydere og høfder reelt

har forøget kysterosionen på de danske kyster.